

WPLYW NAWOŻENIA BURAKA CUKROWEGO POZOSTAŁOŚCIĄ PO FERMENTACJI WYSŁODKÓW BURACZANYCH NA WZROST BIOMASY I ZAWARTOŚĆ CUKRU

Andrzej Baryga, Bożenna Poleć, Tomasz Szymański, Jadwiga Słupecka

Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego im. prof. Wacława Dąbrowskiego

Zakład Cukrownictwa

ul. Inżynierska 4, 05-080 Leszno

andrzej.baryga@ibprs.pl

Streszczenie

Celem pracy było określenie przydatności pozostałości z procesu fermentacji metanowej wysłodków buraczanych do rolniczego wykorzystania na plantacji buraka cukrowego.

Doświadczenia prowadzono na plantacji buraka cukrowego na gruntach w Lesznie w latach 2013-2015. W doświadczeniach stosowano jako kontrolę nawożenie mineralne oraz nawożenie pozostałością po fermentacji w dawkach zawierających ilość azotu równoważną nawożeniu mineralnemu.

Materiał do badań stanowiły pozostałości po fermentacji wysłodków buraczanych, wykorzystywane jako nawóz oraz zebrany plon buraka cukrowego (odmiana Beta vulgaris *Fighter*).

Z badań wynika, że pozostałość po fermentacji wysłodków buraczanych może być wykorzystywana bez zastrzeżeń, biorąc pod uwagę zawartość metali ciężkich i drobnoustrojów, w rolnictwie do uprawy buraków cukrowych.

Analiza statystyczna uzyskanych wyników badań wykazała istotny wpływ warunków pogodowych w okresie wegetacji buraków cukrowych na wzrost biomasy i zawartość cukru, niezależnie od sposobu nawożenia.

Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic w masie i zawartości cukru w burakach w zależności od stosowanych sposobów nawożenia.

Słowa kluczowe: burak cukrowy, wysłodki buraczane, fermentacja metanowa, pozostałość po fermentacji, rolnicze wykorzystanie, jakość surowca

INFLUENCE OF FERTILIZATION SUGAR BEET RESIDUES AFTER FERMENTATION SUGAR BEET PULP ON GROWTH BIOMASS AND CONTENT OF SUGAR

Summary

The aim of the study was to determine the usefulness of the residue from methane fermentation process of sugar beet pulp for agricultural use on the plantation of sugar beet.

The experiments were carried out on a sugar beet growing on land in Leszno in 2013-2015. In the experiments used as a control mineral fertilizers and fertilization the remains after fermentation in doses containing an equivalent amount of nitrogen fertilization with the mineral.

Material consisted of residues from the fermentation of sugar beet pulp, used as fertilizer, and harvested sugar beet (*Beta vulgaris* variety Fighter).

The study, taking into account the content of heavy metals and microorganisms showed that the residue after fermentation of sugar beet pulp can be used without reservation in agriculture for the cultivation of sugar beet.

The statistical analysis of the results showed a significant effect of weather conditions during the growing season for sugar beet growth of biomass and sugar content, regardless of the method of fertilization.

There were no significant differences in weight and content of the sugar beet depending used fertilization methods.

Key words: sugar beet, beet pulp, methane fermentation, residue after fermentation, agricultural use, the quality of raw material

WSTĘP

Wysłodki, będące odpadem z produkcji cukru, były wykorzystywane dotychczas przede wszystkim jako pełnowartościowy produkt paszowy. Jednak poważny spadek pogłowia bydła oraz zniesienie w gospodarce rolnej zależności między produkcją roślinną a zwierzęcą zmusiło do poszukania innej niż paszowa metody zagospodarowania wysłódków.

Bardzo dobrym i opłacalnym sposobem przetwarzania wysłódków okazała się produkcja biogazu. Przykładem takiego rozwiązania była realizacja w poprzednich latach w IBPRS pracy dotyczącej opracowania technologii uzyskania wysokoenergetycznego biogazu z fermentacji metanowej wysłódków buraczanych [Połec i in. 2011].

Fermentacja materiału roślinnego prowadzona jest powszechnie w wielu krajach [Seppala

i in. 2008; Khanna i in. 2008; Murphy, Power 2009; Herrmann i in. 2013; Hutnan i in. 2001; Brooks i in. 2008; Ziemiński, Kowalska-Wentel 2015; Dulcet, Ledochowski 2007]. W optymalnych warunkach prowadzenia procesu gaz fermentacyjny zawiera średnio 62% metanu. Wartość opałowa metanu wynosi 9470 kcal/m^3 ($39,7 \text{ MJ/m}^3$), co oznacza, że biogaz o średniej zawartości metanu na poziomie 62% ma wartość opałową: $22,1 \text{ MJ/m}^3$. Wartość opałowa 1 m^3 biogazu odpowiada: $0,5 \text{ m}^3$ gazu ziemnego, $0,7 \text{ l}$ oleju napędowego, $0,8 \text{ kg}$ koksu, $0,7 \text{ l}$ benzyny, $1,2 \text{ kg}$ węgla kamiennego lub $2,2 \text{ kg}$ drewna [Frąc i Ziemiński 2012; Lalak i in. 2014; Myszograj 2005; Kasprzak i Krzysiak 2007].

Aktualnie w Polsce jest już ponad 130 elektrowni biogazowych, niestety typowych biogazowni przerabiających odpady rolne uzyskane z produkcji spożywczej jest tylko kilka [Kacprzak i in. 2012].

Należy jednak pamiętać, iż oprócz biogazu po fermentacji pozostają odpady złożone zarówno ze stałych, jak i ciekłych składników. Reszta pofermentacyjna zawiera dużo wapnia, fosforu oraz azotu. Duże ilości pozostałości pofermentacyjnej zawierającej substancje biogenne sprawiają, że zachodzi konieczność poszukiwania możliwości efektywnego jej zagospodarowania.

Z dokonanego przeglądu piśmiennictwa wynika, że aktualnie prowadzone są badania nad najbezpieczniejszym i równocześnie najkorzystniejszym sposobem utylizacji pozostałości pofermentacyjnej [Bachmann i in. 2014; Berruto i in. 2013; Chen i in. 2012; Cirne i in. 2007; Paprota 2012]. Wszyscy autorzy wskazują rolnicze wykorzystanie odpadu z biogazowni, jakim jest pozostałość pofermentacyjna, jako rozwiązanie optymalne. Takie wykorzystanie tego odpadu jest także istotnym czynnikiem warunkującym opłacalność działania biogazowni, w której uzyskuje się znaczącą ilość wysokoenergetycznego biogazu, a jednocześnie likwiduje się problem powstającego odpadu, którego składowanie ze względu na ilość i jakość wiąże się z kosztami i ujemnymi skutkami dla środowiska [Jędrzak 2008].

Aktualnie w Polsce kładzie się duży nacisk na zagospodarowanie odpadów, a zwiększanie się liczby biogazowni wytwarzających duże ilości pozostałości pofermentacyjnej zmusza do poszukiwania metod zagospodarowania przyjaznych środowisku oraz ekonomicznie uzasadnionych.

Najbardziej korzystnym sposobem zagospodarowania tego odpadu byłoby zastosowanie go jako nawozu pod uprawy znajdujące się w pobliżu biogazowni. Taki sposób zagospodarowania tego odpadu jest bardzo dobry z uwagi na znaczną zawartość w nim pierwiastków w formie jonowej, niezbędnych dla rozwoju roślin i łatwiej dla nich przyswajalnych, a także z uwagi na jego korzystny wpływ na jakość gleby [Odlare

i in. 2008].

Rolnicze wykorzystanie pozwala na eliminację związków biogenych – azotu i fosforu – powodujących eutrofizację środowiska wodnego. Natomiast dzięki zawartości tych związków w odpadach w niektórych przypadkach można całkowicie wyeliminować konieczność używania nawozów mineralnych, co dodatkowo zapobiega zanieczyszczeniu wód nawozami [Gunnarsson i in. 2011].

W literaturze znaleziono również informacje o wykorzystaniu pozostałości po fermentacji kiszonki z kukurydzy i buraków cukrowych jako substratu do otrzymywania bionawozu [Achu i in. 2012]. Zastąpienie nawożenia mineralnego pozostałościami po fermentacji wysłodków może przynieść plantatorowi buraków cukrowych znaczący zysk ekonomiczny. Nawożenie mineralne plantacji buraka cukrowego stanowi ok. 28% całkowitych kosztów uprawy [Artyszak 2009]. Według kalkulacji kosztów uprawy buraków cukrowych w 2016 r., koszty nawożenia plantacji wynoszą 1300 PLN/ha [Nowacki 2016].

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Materiał do badań stanowiła pozostałość po fermentacji wysłodków buraczanych i burak cukrowy (odmiana Beta vulgaris *Fighter*). Badania prowadzono w trzech sezonach wegetacyjnych (2013, 2014 i 2015 r.) na plantacji buraka cukrowego założonej na gruntach stanowiących własność IBPRS w Lesznie.

Do celów badawczych założono poletka doświadczalne o powierzchni 18,75 m² każde. Glebę przewidzianą pod uprawę buraka cukrowego nawożono w dawce 120 kg N/ha, z tym że 3 poletka – nawozem mineralnym, a 3 poletka – odpływem z fermentora po fermentacji wysłodków buraczanych. Jako nawóz mineralny stosowano w każdym sezonie wegetacyjnym granulowany nawóz wieloskładnikowy o nazwie handlowej „Lubofos pod buraki”. Nawóz zawierał: 3,5% azotu (N), 10% fosforu (P₂O₅), 21% potasu (K₂O), 6% wapnia (CaO), 2,2% magnezu (MgO), 17% siarki (SO₃) i 0,2% boru (B) oraz 8 ppm miedzi i 21 ppm manganu.

Po zakończeniu wegetacji zbierano buraki i poddawano badaniom określającym masę korzeni i liści oraz zawartość cukru. Stosowano następujące metody badań analitycznych: odczyn – metoda potencjometryczna wg PN-EN 12176:2004, sucha masa – metoda wagowa wg PN-EN 12880: 2004, substancje organiczne – metoda wagowa wg PN-EN 12879: 2004, azot ogólny Kjeldahla – metoda miareczkowa wg PN-EN 13342:2002, fosfor ogólny – metoda spektrofotometryczna wg procedury badawczej własnej PB-84, sacharoza – metoda

polarymetryczna wg procedury badawczej własnej PB/PAC, wapń i magnez metoda FAAS wg PN-EN 13346:2002, potas – metoda FAAS wg PN-ISO 9964-2:1994, kadm, ołów, nikiel, cynk, miedź – metoda FAAS wg PN-ISO 8288:2002, chrom – metoda FAAS wg PN-EN 1233:2000, rtęć – metoda AAS z amalgamacją wg procedury badawczej własnej PB-25, obecność bakterii chorobotwórczych z rodzaju *Salmonella* – PN-Z-19000-1:2001, liczba żywych jaj pasożytów jelitowych *Ascaris* sp., *Trichuris* sp., *Toxocara* sp. – PN-Z-19000-4:2001.

Obliczenia statystyczne wykonano, stosując schemat analizy wariancji w układzie dwuczynnikowym – pierwszy czynnik lata, drugi objekty nawozowe. Zastosowano test grup jednorodnych Fishera przy $p = 0,05$. Wykorzystano program Statistica ver. 12.0.

WYNIKI I DYSKUSJA

Przy wykorzystaniu rolniczym odpadów, jakim jest również pozostałość z procesu fermentacji wysłoków buraczanych, niezbędne jest spełnienie szeregu wymagań określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. (Dz. U. 2015, nr 0, poz. 257). Wymagania te dotyczą m.in. jakości odpadów, które będą wykorzystywane rolniczo.

W tabeli 1. zestawiono te wymagania z wynikami badań pozostałości pofermentacyjnych wykorzystywanych do badań polowych na plantacji buraka cukrowego w latach 2013–2015.

Tabela 1. Jakość pozostałości pofermentacyjnych wykorzystywanych na plantacji doświadczalnej buraka cukrowego i porównanie z wartościami dopuszczalnymi przy rolniczym wykorzystaniu odpadów
Quality of fermentation residues used for experimental plantations of sugar beet and comparison with limit values by the use of agricultural waste

Parametry	Jednostki	Parametry pozostałości pofermentacyjnych wykorzystywanych do badań polowych na plantacji buraka cukrowego w sezonach wegetacyjnych:				Dopuszczalna ilość metali ciężkich i drobnoustrojów przy stosowaniu w rolnictwie
		2013	2014	2015	Średnio 2013-2015	
Odczyn	pH	7,8	7,5	7,6	7,6	-
Sucha masa	% ś.m	2,5	0,5	0,3	1,1	-
Substancje organiczne	% s.m	55,8	51,6	30,9	46,1	-
Kadm (Cd)	mg/ kg s.m.	2,7	2,2	5,2	3,4	≤ 20
Ołów (Pb)	mg/ kg s.m	17,1	42,4	22,1	27,2	≤ 750
Nikiel (Ni)	mg/ kg s.m	5,5	8,8	5,5	6,6	≤ 300
Chrom (Cr)	mg/ kg s.m	29,6	< 25,0	26,3	27,0	≤ 500
Rtęć (Hg)	mg/ kg s.m	0,543	0,357	0,426	0,442	≤ 16
Miedź (Cu)	mg/ kg s.m	108	88	115	104	≤ 1000
Cynk (Zn)	mg/ kg s.m	446	295	470	404	≤ 2500
Wapń (Ca)	g/ kg s.m	129	82	134	115	-
Magnez (Mg)	g/ kg s.m	4,02	8,4	11,4	7,9	-
Azot ogólny Kjeldahla (N)	g/ kg s.m	138,4	170,4	207,0	171,9	-
Fosfor ogólny (P)	g/ kg s.m	12,6	15,9	12,6	13,7	-
Potas (K)	g/ kg s.m	10,3	11,9	12,3	11,5	-
Bakterie chorobotwórcze z rodzaju <i>Salmonella</i>	w 100 g osadu	0	0	0	0	0
Liczba żywych jaj pasożytów jelitowych: <i>Atrichuris sp.</i> , <i>Trichuris sp.</i> , <i>Toxocara sp.</i>	szt./kg s.m	0	0	0	0	0

Wyniki przeprowadzonych analiz wskazują, że badane pozostałości po fermentacji wysłodków spełniają wymogi aktualnie obowiązujących przepisów prawnych i mogą być wykorzystywane w rolnictwie (tabela 1).

Z badanych parametrów jakościowych dla plantatora uprawiającego buraki cukrowe najważniejszymi są: masa surowca i zawartość cukru w korzeniach. Inne wskaźniki jakościowe nie mają dla plantatora istotnego znaczenia. Dla cukrowni przetwarzających

korzenie buraków ważne są jeszcze inne parametry jakościowe, które decydują o wartości technologicznej buraków stanowiących surowiec dla przemysłu cukrowniczego. Zagadnienie to będzie jednak przedmiotem innej publikacji.

Aby określić wpływ sposobu nawożenia na wzrost roślin buraka cukrowego, badano w surowcu zebranym po zakończeniu okresu wegetacji masę korzeni, liści, całych roślin oraz zawartość cukru.

W tabeli 2. przedstawiono opracowane statystycznie wyniki oznaczeń pięciu ważnych dla plantatora buraka cukrowego parametrów jakości surowca z upraw doświadczalnych.

Tabela 2. Analiza statystyczna wyników badań porównawczych wpływu sposobu nawożenia plantacji buraka cukrowego na wzrost buraków i zawartość cukru w latach 2013–2015

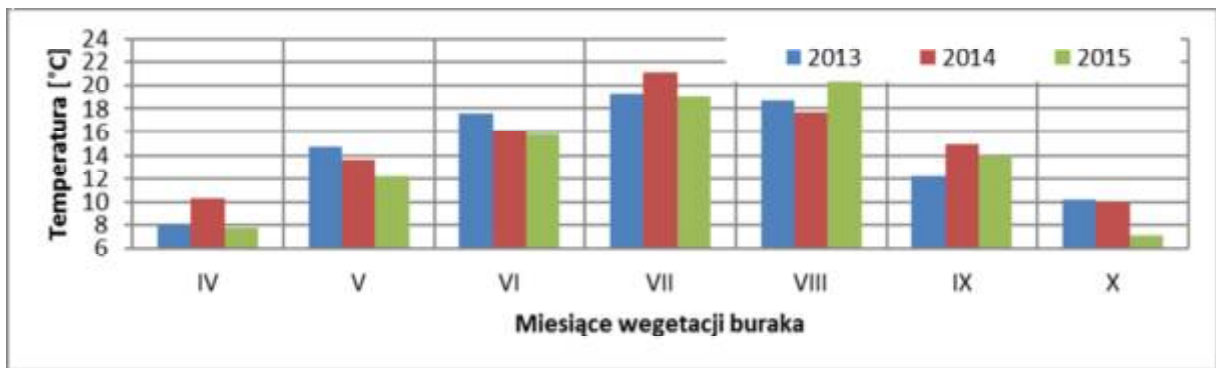
Statistical analysis of the results of studies comparing the impact of fertilization method plantation of sugar beet to growth beet and sugar content in 2013–2015

Sposób nawożenia (A)	Sezon wegetacyjny (B)			Średnio (A)
	2013	2014	2015	
Masa korzeni buraków (g)				
Mineralne	833,0 ^d	467,7 ^a	495,0 ^a	598,6
Odpływem z fermentora	763,3 ^{bc}	467,0 ^a	670,3 ^b	633,6
Średnio (B)	798,2 ^c	467,3 ^a	582,7 ^b	
Masa liści buraków (g)				
Mineralne	277,7 ^c	222,0 ^{bc}	125,0 ^a	208,2
Odpływem z fermentora	230,0 ^{bc}	238,7 ^{bc}	205,3 ^b	224,7
Średnio (B)	253,8 ^b	230,3 ^b	165,2 ^a	
Stosunek masy korzenia do masy liści buraków				
Mineralne	3,0 ^b	2,1 ^a	4,0 ^c	3,0
Odpływem z fermentora	3,3 ^b	2,0 ^a	3,3 ^b	2,8
Średnio (B)	3,2 ^b	2,0	3,6 ^c	
Zawartość cukru (sacharozy) - Ck %				
Mineralne	19,0 ^b	16,8 ^a	17,0 ^a	17,6 ^a
Odpływem z fermentora	18,6 ^b	17,3 ^a	18,5 ^b	18,1 ^b
Średnio (B)	18,8 ^c	17,0 ^a	17,7 ^b	

Średnie wszystkich badanych parametrów z trzech lat badań (tabela 2., średnia A) nie różniły się istotnie w zależności od wariantu doświadczenia. Natomiast w przypadku wszystkich badanych parametrów korzeni w wariancie doświadczalnym i kontrolnym wystąpiło istotne ich zróżnicowanie w zależności od sezonu wegetacyjnego (tabela 2., średnia B).

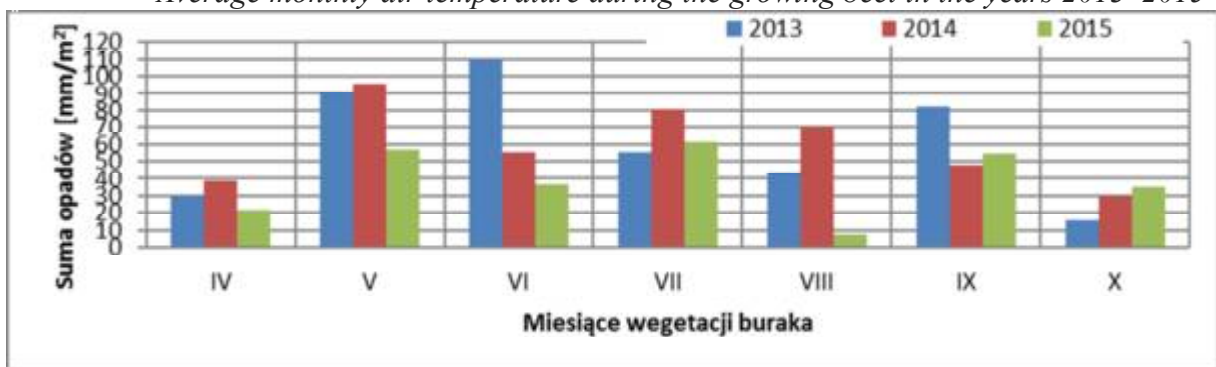
Rysunki 1–3 pokazują wyraźne różnice w sezonach wegetacyjnych w latach 2013–2015

pod względem miesięcznej średniej temperatury, średniej wielkości opadów i liczby dni słonecznych. Podobnie zdecydowanie różniły się średnie ww. parametrów pogodowych w poszczególnych sezonach wegetacyjnych: średnia temperatur wynosiła w 2013 r. – 14,4°C; w 2014 r. – 14,8°C, a w 2015 r. – 13,9°C; suma opadów w 2013 r. – 60,7 mm/m²; w 2014 r. – 59,7 mm/m², a w 2015 r. – 39 mm/m²; suma godzin ze słońcem w 2013 r. – 205,4 h; w 2014 r. – 206,6 h, a w 2015 r. – 211,7 h.



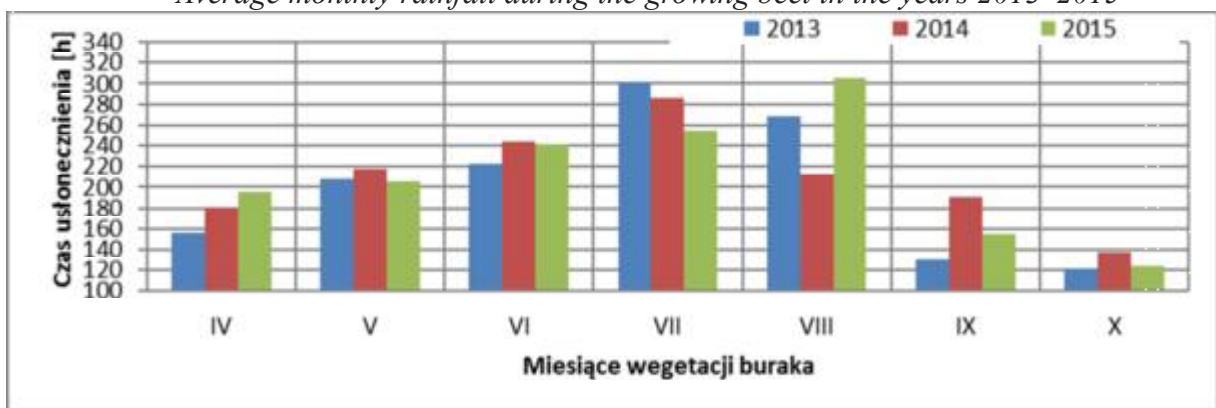
Rysunek 1. Średnia miesięczna temperatura powietrza podczas wegetacji buraków w latach 2013–2015

Average monthly air temperature during the growing beet in the years 2013–2015



Rysunek 2. Średnia miesięczna suma opadów podczas wegetacji buraków w latach 2013–2015

Average monthly rainfall during the growing beet in the years 2013–2015



Rysunek 3. Średnia miesięczna suma godzin ze słońcem podczas wegetacji buraków w latach 2013–2015

Average monthly total hours of sunshine during the growing beet in the years 2013–2015

Należy podkreślić, że burak cukrowy jest rośliną o dużych wymaganiach wodnych i ciepłych, ale wymagania te są różne w kolejnych okresach jego wegetacji [Gutmański 1991]. W okresie siewu nasion, kiełkowania i początkowego wzrostu buraka (IV–V) szczególnie ważna jest temperatura powietrza oraz ilość opadów, a tym samym temperatura i wilgotność gleby. Mniejsze znaczenie ma nasłonecznienie plantacji. W odpowiednich warunkach w okresie IV–V następuje szybsze rozpoczęcie wzrostu buraków i tym samym wydłużenie czasu wegetacji. Najkorzystniejsze warunki pogodowe w okresie początkowego wzrostu buraka miały miejsce w 2013 r., a najmniej korzystne w 2015 r.

Wymagania pogodowe w okresie wzrostu buraka VI–X są bardziej skomplikowane. W początkowych miesiącach tego okresu następuje głównie przyrost biomasy, a w końcowych przede wszystkim przyrost cukru. Dla odpowiedniego przyrostu biomasy decydujący wpływ mają zarówno temperatura, wilgotność gleby, jak i nasłonecznienie plantacji. Dla przyrostu cukru decydujący wpływ mają temperatura i nasłonecznienie plantacji. Ciepłe i słoneczne końcowe miesiące wegetacji buraka stwarzają korzystne warunki dla gromadzenia cukru w korzeniach. Wysoka wilgotność gleby pod koniec wegetacji buraka nie sprzyja gromadzeniu cukru. Najkorzystniejsze warunki pogodowe dla przyrostu biomasy miały miejsce w 2013 r., a najmniej korzystne w 2014 r. Natomiast dla przyrostu cukru warunki pogodowe w latach 2013–2015 można uznać za porównywalne.

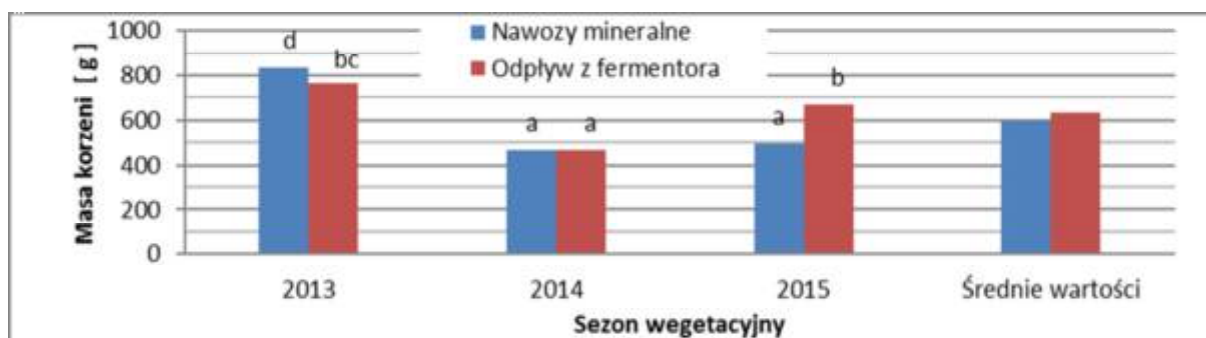
Poniżej bardziej szczegółowo zostaną opisane zależności poszczególnych parametrów jakości surowca od sposobu nawożenia w poszczególnych okresach wegetacji surowca.

Masa korzeni buraka cukrowego stanowi dla plantatora uprawiającego buraki cukrowe jeden z najważniejszych parametrów jakościowych.

Najniższy przyrost masy korzeni stwierdzono w doświadczeniu w 2014 r., a najwyższy w 2013 r. Istotny wpływ na masę korzeni miały różne warunki pogodowe w tych latach.

Analiza statystyczna średniej masy pojedynczego korzenia buraka z 3 lat badań nie wykazała istotnych różnic w zależności od sposobu nawożenia. Takich różnic nie stwierdzono także w okresie wegetacyjnym 2014 r. Istotny wpływ na masę korzeni stwierdzono w 2013 r. i 2015 r. W 2013 r. korzystniejszy wpływ na masę uprawianego surowca miało nawożenie mineralne, a w 2015 r. nawożenie odciekami pofermentacyjnym. W 2015 r. buraki nawożone pozostałością pofermentacyjną wykazywały średnią wartość masy pojedynczego korzenia wyższą aż o 175,3 g niż korzenie buraków nawożonych mineralnie.

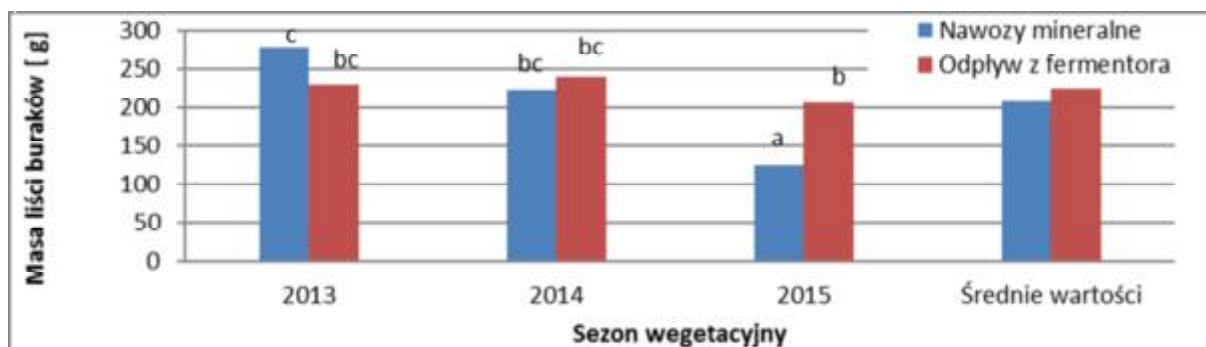
W przypadku średniej z 3 lat różnica ta wynosiła 65 g na korzyść nawożenia pozostałością pofermentacyjną (rysunek 4).



Rysunek 4. Zależność masy korzeni od sposobu nawożenia buraków
Dependence of the root mass of sugar beet fertilization method

Masa liści buraków stanowi wskaźnik niezbędny do obliczenia stosunku masy korzenia do liści, umożliwiającego plantatorowi ocenę dojrzałości buraka.

Sposób nawożenia nie miał istotnego statystycznie wpływu na średnią z trzech lat badań masę liści pojedynczego buraka. Natomiast analiza wpływu sposobu nawożenia na masę liści w poszczególnych sezonach wegetacyjnych wykazała istotne różnice w roku 2013 i 2015 (rysunek 5).

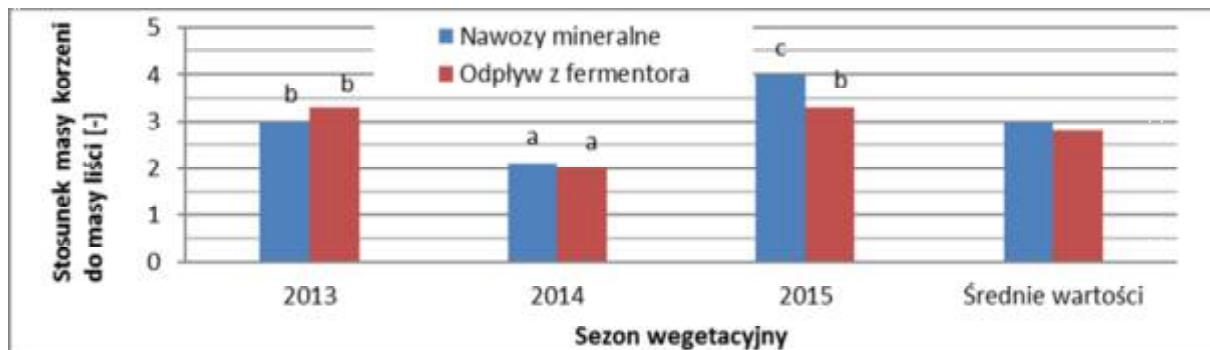


Rysunek 5. Zależność masy liści od sposobu nawożenia buraków cukrowych
Dependence of the mass of leaves of sugar beet fertilization method

Stosunek masy korzeni do masy liści buraków charakteryzuje moment tzw. dojrzałości fizjologicznej buraka cukrowego. Powinien on wynosić około 1,25. Zmniejszenie tej proporcji na korzyść liści jest niepożądane, ponieważ głównym celem uprawy buraka cukrowego są korzenie – surowiec do produkcji cukru. W okresie ograniczania produktywności następuje zamieranie liści i składniki pokarmowe energicznie przemieszczają się z liści do korzeni.

Stosunek masy korzeni do masy liści w momencie zbioru surowca wahał się przy nawożeniu mineralnym w latach 2013-2015 od 2,1 do 4,0, a od 2,0 do 3,3 przy nawożeniu odpływem z fermentora. Różnice stosunku masy korzeni do masy liści w zależności od sposobu nawożenia były statystycznie istotne tylko w 2015 r.

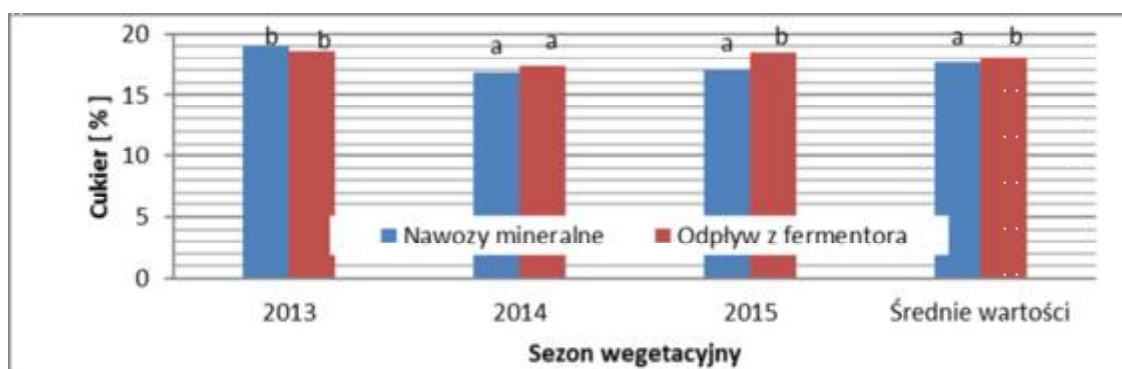
Średni z trzech sezonów wegetacyjnych stosunek masy korzeni do masy liści wynosił 3,0 przy nawożeniu mineralnym i 2,8 przy nawożeniu pozostałością pofermentacyjną. Sposób nawożenia nie miał istotnego statystycznie wpływu na średni stosunek masy korzenia buraka do masy liści z 3 lat badań (rysunek 6).



Rysunek 6. Zależność stosunku masy korzeni do masy liści od sposobu nawożenia buraków cukrowych
Dependence of the root mass relative to the mass of the leaves of sugar beet fertilization method

Zawartość cukru należy określić jako wysoką, gdyż zawartość sacharozy w korzeniach buraka cukrowego waha się przeciętnie w granicach 14–19% [Dobrzycki 1984]. W opisywanym doświadczeniu w burakach nawożonych pozostałością pofermentacyjną wahała się ona w poszczególnych latach średnio w granicach od 17,3 (2014 r.) do 18,6% (2013 r.), a w burakach nawożonych środkami mineralnymi w granicach od 16,8 (2014 r.) do 19,0% (2013 r.) (rysunek 7).

Na różnice w zawartości cukru w korzeniach buraka, stwierdzone w kolejnych sezonach wegetacyjnych, istotny wpływ miały różne warunki pogodowe w latach 2013–2015.



Rysunek 7. Zależność zawartości cukru od sposobu nawożenia buraków cukrowych
Dependence of the of the sugar content of sugar beet fertilization method

Analiza statystyczna wykazała, że różnice w zawartości cukru w 2013 r. i 2014 r. były nieistotne. Istotne natomiast były różnice stwierdzone w 2015 r., ale na korzyść nawożenia pozostałością pofermentacyjną. Podobnie analiza średnich zawartości cukru wskazała na

istotne różnice w zależności od sposobu nawożenia na korzyść nawożenia pozostałością po fermentacji (rysunek 7).

Buraki nawożone pozostałością pofermentacyjną wykazywały w trzyletnich badaniach średnią zawartość cukru wyższą o 0,5% niż nawożone mineralnie.

Podsumowując można stwierdzić, że jeśli za decydujące kryterium przyjąć wzrost buraków i zawartość sacharozy, pozostałość po fermentacji wysłodków może stanowić alternatywę dla tradycyjnie stosowanego nawożenia mineralnego i przynieść istotne korzyści materialne, zarówno plantatorowi buraków, jak i biogazowni wysłodków buraczanych.

WNIOSKI

1. Jakość pozostałości po fermentacji wysłodków buraczanych pod względem zawartości metali ciężkich i drobnoustrojów umożliwia wykorzystywanie jej bez zastrzeżeń w rolnictwie.
2. Wariantowe nawożenie plantacji buraka cukrowego związkami azotu, w postaci pozostałości pofermentacyjnej, oraz nawozem mineralnym w ilości 120 kg N/ha zapewniło porównywalną jakość korzeni, korzystną zarówno dla plantatora, jak i dla cukrowni.
3. Składniki nawozowe zawarte w pozostałości po fermentacji wysłodków są przyswajalne dla buraka cukrowego w podobnym stopniu jak składniki nawozowe dostarczane w nawozach mineralnych.
4. Analiza statystyczna wyników badań uzyskanych w latach 2013–2015 wykazała, że istotny wpływ na jakość surowca mają warunki pogodowe w okresie wegetacji buraków cukrowych, niezależnie od sposobu nawożenia.
5. Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic w wynikach badań jakości surowca w zależności od stosowanych sposobów nawożenia.
6. Nawożenie pozostałością po fermentacji wysłodków plantacji buraka cukrowego, jeśli za decydujące kryterium przyjąć wzrost buraków i zawartość sacharozy, może bez zastrzeżeń stanowić alternatywny sposób nawożenia w stosunku do tradycyjnie stosowanego nawożenia mineralnego, zapewniając oszczędności rzędu 1500 PLN/ha.

PIŚMIENNICTWO

1. Achu I., Björn A., Björnsson L. (2012). Stable operation during pilot-scale anaerobic digestion of nutrient-supplemented maize/sugar beet silage. *Bioresour. Technol.*, 118, 445–454
2. Artyszak A. (2009). Ile zostaje z buraków cukrowych? *Nowoczesna Uprawa*, 1.
3. Bachmann S., Gropp M., Eichler-Löbermann B. (2014). Phosphorus availability and soil microbial activity in a 3 year field experiment amended with digested dairy slurry. *Biomass Bioenergy*, 70, 429-439
4. Berruto R., Busato P., Bochtis D. D., Sørensen C. G. (2013). Comparison of distribution systems for biogas plant residual. *Biomass Bioenergy*, 52, 139-150
5. Brooks L., Parravicini V., Svoldal K., Kroiss H., Prendl L. (2008). Biogas from sugar beet press pulp as substitute of fossil fuel in sugar beet factories. *Water Sci Technol*, 58 (7), 1498-1504
6. Cirne D. G., Lehtomäki A., Björnsson L., Blackall L. L. (2007). Hydrolysis and microbial community analyses in two-stage anaerobic digestion of energy crops. *J. Applied Microbiol.*, 103, 516-527
7. Chen R., Blagodatskaya E., Senbayram M., Blagodatsky S., Myachina O., Dittert K., Kuzyakov Y. (2012). Decomposition of biogas residues in soil and their effects on microbial growth kinetics and enzyme activities. *Biomass Bioenergy*, 45, 221-229
8. Dobrzycki J. *Chemiczne podstawy technologii cukru*. Warszawa: WNT, 1984
9. Dulcet E., Ledochowski P. (2007). Technique of ensilage of beetroot marc in the form of cylindrical beams wrapped in foil. *J. Res. Appl. Agric. Eng.*, 52 (3), 37-39
10. Frąc M., Ziemiński K., (2012). Methane fermentation process for utilisation of organic waste. *Inter. Agrophysics*, 26, 3, 317-330
11. Gunnarsson A, Lindén B, Gertsson U. (2011). Biodigestion of plant material can improve nitrogen use efficiency in a red beet crop sequence. *HortScience*, 46, 765-775
12. Gutmański I. (1991). *Produkcja buraka cukrowego*. Poznań: PWRiL
13. Herrmann C., Prochnow A., Heiermann M., Idler C. (2013). Biomass from landscape management of grassland used for biogas production: effects of harvest date and silage additives on feedstock quality and methane yield. *Grass and Forage Science*, 69, 549-566
14. Hutnan M., Drtil M., Derco J., Mrafkova L., Hornak M., Mico S. (2001). Two-Step Pilot-Scale Anaerobic Treatment of Sugar Beet Pulp. *Pol. J. Environ. Stud.*, 10 (4), 237-243
15. Jędrzak A. (2008). *Biologiczne przetwarzanie odpadów*. Warszawa: PWN
16. Kasprzak A., Krzysiak L. (2007). *Biomasa jako cenny surowiec do produkcji biogazu*.

- Laboratorium. Prz. Ogólnopolski, 9, 60-62
17. Kacprzak A., Michalska K., Romanowska-Duda Z., Grzesik M. (2012). Rośliny energetyczne jako cenny surowiec do produkcji biogazu. Kosmos. Probl. Nauk Biol., 61, (2), 281-293
 18. Khanna M., Dhunganna B., Clifton-Brown J. (2008). Cost of producing miscanthus and switchgrass for bioenergy in Illinois. Biomass Bioenergy, 32, 482-493
 19. Lalak J., Kasprzycka A., Murat A., Paprota E. M., Tys J. (2014). Obróbka wstępna biomasy bogatej w lignocelulozę w celu zwiększenia wydajności fermentacji metanowej. Acta Agrophysica, 21 (1), 51-62
 20. Murphy J. D., Power N. (2009). Technical and economic analysis of biogas production in Ireland utilizing three different crop rotations. Applied Energy, 86, 25-36
 21. Myszograj S. (2005). Metan – gaz cieplarniany i źródło energii. Ekotechnika, 3, 53-55
 22. Nowacki J. (2016): <http://kalkulacje.wodr.poznań.pl/buraki1.htm>.
 23. Odlare M., Pell M., Svensson K. (2008). Changes in soil chemical and microbiological properties during 4 years of application of various organic residue. Waste Manage., 28 (7), 1246-1253
 24. Paprota E. (2012). Proces fermentacji metanowej sposobem otrzymywania pełnowartościowego nawozu organicznego. Seminarium Naukowe „Popularyzacja prac badawczo-rozwojowych z zakresu odnawialnych źródeł energii”, Lublin, 01.02.2012 r.
 25. PN-EN 12176:2004: Charakterystyka osadów ściekowych. Oznaczanie wartości pH
 26. PN-EN 1233:2000 Jakość wody. Oznaczanie chromu. Metody absorpcyjnej spektrometrii atomowej
 27. PN-EN 12879:2004: Charakterystyka osadów ściekowych. Oznaczanie strat przy prażeniu suchej masy osadu
 28. PN-EN 12880:2004: Charakterystyka osadów ściekowych. Oznaczanie suchej pozostałości i zawartości wody
 29. PN-EN 13342:2002: Charakterystyka osadów ściekowych. Oznaczanie azotu Kjeldahla
 30. PN-EN 13346:2002: Jakość wody -- Oznaczanie wapnia i magnezu. Metoda atomowej spektrometrii absorpcyjnej
 31. PN-ISO 9964-2:1994: Jakość wody. Oznaczanie sodu i potasu, Oznaczanie potasu metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej
 32. PN-ISO 8288:2002: Jakość wody. Oznaczanie kobaltu, niklu, miedzi, cynku, kadmu i ołowiu. Metody atomowej spektrometrii absorpcyjnej z atomizacją w płomieniu

33. PN-Z-19000-1:2001: Jakość gleby. Ocena stanu sanitarnego gleby. Wykrywanie bakterii z rodzaju *Salmonella*
34. PN-Z-19000-4:2001: Jakość gleby. Ocena stanu sanitarnego gleby. Wykrywanie jaj pasożytów jelitowych
35. Połec B., Baryga A., Szymański T., Wołyńska W., Tobała A. (2011). Możliwość wytwarzania biogazu w procesie fermentacji metanowej wysłodków buraczanych. *Gazeta Cukrownicza*, 4, 107-112
36. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. (Dz. U. 2015, nr 0, poz. 257).
37. Seppala M., Paavola T., Lehtomaki A., Pakarinen O., Rintala J. (2008) Biogas from energy crops—optimal pre-treatments and storage, co-digestion and energy balance in boreal conditions. *Water Sci Technol*, 58 (9), 1857-1863
38. Ziemiński K., Kowalska-Wentel M. (2015). Effect of enzymatic pretreatment on anaerobic co-digestion of sugar beet pulp silage and vinasse. *Bioresour. Technol.*, 180, 274-280